

door de loterij werd gebruikt. Vervolgens werden door de toevalsgenerator de winnende getallen voor de loterijrekking gegenereerd. Tipton had zichzelf vernietigende rootkit-malware in het computersysteem van zijn werkgever geplaatst om gemanipuleerde winnende getallen te produceren voor trekkingen die op drie specifieke data van het jaar plaatsvonden. Tiptons malware was geprogrammeerd om voorspelbare resultaten te krijgen voor trekkingen op drie data van het jaar – 27 mei, 22 november en 29 december – onder de voorwaarde dat deze data een woensdag of een zaterdag waren en de trekking na 20.00 uur was. Als aan deze criteria was voldaan, werd de toevalsgenerator voor het genereren van de winnende getallen naar een ander spoor omgeleid. In plaats van een seed vanuit de Geiger-teller, gebruikte de toevalsgenerator een vooraf bepaald startgetal waardoor ongeveer tweehonderd voorspelbare combinaties van winnende getallen overbleven. Eddie, die als loterijmedewerker niet aan het loterijspel mocht deelnemen, gaf de potentieel winnende combinaties door aan zijn broer en een zakenman uit Texas, die vervolgens de loterij wonnen en de winst met hem deelde. Zo wist Tipton winnende trekkingen te regelen met in totaal meer dan \$24 miljoen aan prijzen – de grootste loterijzwendel in de Amerikaanse geschiedenis. Hoe kwam deze zwendel aan het licht? Het antwoord is simpel: zoals vele criminelen, kon Tipton het niet opbrengen te stoppen met zijn criminele activiteiten en dan is het bijna onvermijdelijk dat op een bepaald moment een fatale onvoorzichtigheid wordt begaan. Een en ander is kleurrijk beschreven door Reid Forgrave in de longread 'The man who cracked the lottery' in het *New York Times Magazine* van 3 mei 2018. Eddie Tipton werd veroordeeld tot 25 jaar gevangenisstraf. Zowel dit loterijschandaal als het Triple Six Fix loterijschandaal werpt de vraag op hoe waterdicht loterijen in het algemeen en in Nederland in het bijzonder tegen intern misbruik beveiligd zijn.

De oprichter van de Stichting Loterijverlies pakte het beter aan dan Nick Perry en Eddie Tipton, althans in eerste instantie. Deze stichting werd in 2008 opgericht nadat bekend was geworden dat in de periode tussen 2000 en 2008 de grotere Staatsloterij-prijzen (50 duizend euro en 100 duizend euro) niet getrokken waren uit de verzameling van verkochte loten, maar uit de verzameling van alle loten die verkocht konden worden. De verzameling van alle loten was in de periode tussen 2001 en 2008 opgelopen van 7,5 miljoen loten naar 21 miljoen loten, terwijl per trekking ongeveer 3 miljoen loten werden verkocht. De Stichting Loterijverlies kwam met het voorstel een collectieve procedure tegen de Staatsloterij te voeren. Je kon tegen een eenmalige betaling van 35 euro meedoen met

deze collectieve procedure die gericht was op het verkrijgen van een forse schadevergoeding van de Staatsloterij. Dit was een uitermate slim idee want waarom zou je niet een gokje wagen voor een klein bedrag van 35 euro. De Stichting Loterijverlies kreeg de wind pas goed in de rug toen op 30 januari 2015 de Hoge Raad oordeelde dat in strijd met de wet de Staatsloterij tussen 2000 en 2008 de consument had misleid ten aanzien van de hoogte van de winkansen en het aantal grote prijzen per trekking. Het verweer van de Staatsloterij dat het minuscule kleine verschil tussen de in de reclame-uitingen voorgespiegelde winkans (0,00000667%) en de werkelijke winkans (0,00000953%) geen noemenswaardig effect kan hebben gehad op de beslissing van de consument om al dan niet een lot te kopen werd door de Hoge Raad verworpen. Het arrest van het hoogste rechtsorgaan had tot gevolg dat het aantal deelnemers bij Loterijverlies omhoog vloog tot ongeveer 194 duizend personen. De oprichter van Loterijverlies haalde ongeveer 7 miljoen euro binnen. Een gedeelte van dit bedrag ging op aan proceskosten, maar de schadevergoeding die Loterijverlies er voor haar deelnemers eruit sleepte was uiterst beperkt. De Staatsloterij kende een schadevergoeding toe van 40 euro per persoon en gratis deelname aan een extra trekking. De oprichter van de Stichting Loterijverlies leek aanvankelijk er financieel heel wat beter uit te springen. Begin 2016 kwam dagblad *De Telegraaf* echter met een reeks publicaties waarin ernstige twijfels werden uitgesproken of het wel zuivere koffie was wat de oprichter van Loterijverlies met de miljoenen aan inleggeden had gedaan. Dit leidde tot beslaglegging door de FIOD op goederen en bankrekeningen van de oprichter van Loterijverlies. Na nieuwe rechtszaken hierover oordeelde de Hoge Raad uiteindelijk in maart 2020 dat het strafrechtelijk beslag gehandhaafd bleef. De soap is hier nog niet mee ten einde en duurt onverminderd voort met verbitterde gevechten van de Stichting Loterijverlies tegen het dagblad *De Telegraaf* die in het nieuwsbulletin van de stichting als spreekbuis van de staat wordt gekwalificeerd. Daarnaast kent sinds april dit jaar de slepende juridische strijd om schadevergoeding te krijgen van de Staatsloterij wegens misleiding van deelnemers een tweede speler in de gedaante van de Stichting Loterij Incasso. Het wachten is op de verfilming van de oer-Hollandse soap rond de Staatsloterij.

HENK TIJMS is emeritus hoogleraar operations research aan de Vrije Universiteit en auteur van diverse leerboeken over operations research en kansrekening. Zijn meest recente boek is *Basic Probability, What Every Math Student Should Know*. World Scientific Press, 2019.
E-mail: h.c.tijms@xs4all.nl



Foto's: Pieter van den Berg

EEN BOOST VOOR VERDUURZAMING

Elektrificatie van het busvervoer in de regio Rotterdam

In lijn met de klimaatdoelen heeft de Nederlandse overheid in 2016 de ambitie uitgesproken om uiterlijk in 2030 alle dieselbussen in Nederland te vervangen door duurzaam aangedreven bussen. Sindsdien werken het Rotterdamse vervoerbedrijf RET en de Rotterdam School of Management, Erasmus University samen om deze transitie van dieselbussen naar elektrische bussen soepel te laten verlopen. Het gaat hierbij voornamelijk om de operationele uitdaging van het plannen van de laadmomenten van de bussen. In 2019 zijn de eerste 50 elektrische bussen in gebruik genomen en in de komende jaren zullen er snel meer volgen.

PIETER VAN DEN BERG

In de strijd tegen klimaatverandering nemen bijna alle landen in de wereld maatregelen om de uitstoot van CO₂ te beperken. Een belangrijke sector in deze energietransitie is de transportsector waarbij het met name van belang is om met fossiele brandstof aangedreven voertuigen te vervangen door duurzame voertuigen. Binnen het open-

baar vervoer gaat het hierbij vooral om het busvervoer dat nog veelal uitgevoerd wordt met dieselbussen. In 2016 hebben de Nederlandse overheid en de vervoersbedrijven de ambitie uitgesproken om uiterlijk in 2030 alle dieselbussen vervangen te hebben door duurzaam aangedreven bussen.

Voor de Rotterdamse aanbieder van openbaar vervoer, RET, heeft dit geleid tot een enorme operationele uitdaging. Al snel bleek dat de bestaande materieelplanning niet toegelaten zou zijn als gevolg van de beperkte actieradius en laadduur van de nieuw aan te schaffen elektrische bussen. Dit heeft als gevolg dat een bus niet langer de hele dag aaneengesloten ingezet kan worden, maar gedurende de dag gekoppeld zal moeten worden aan een laadpaal.

Daarnaast heeft de operationele onzekerheid grote invloed op het batterijniveau van de bussen. Zo kan een vertraging ervoor zorgen dat een bus een laadmoment mist waardoor de bus onvoldoende energie heeft om alle ritten uit te voeren. Ook kunnen ongunstige weersomstandigheden zorgen voor een hoger verbruik. Wanneer de energie, die voor het laden gebruikt wordt, ook nog afkomstig is van hernieuwbare bronnen als zon of wind zal dit tot extra onzekerheid leiden.

Om tot een soepele transitie te komen is er een samenwerking op gang gekomen tussen de Rotterdam School of Management, Erasmus University (RSM) en de RET. Het project bestond uit drie fasen. Allereerst was er fase 0 waarin voorbereidingen getroffen werden voor de invoering van elektrische bussen. Vervolgens werd het Noordelijke deel van het busnetwerk geëlektrificeerd in december 2019. Ten slotte is gestart met de planning van het tweede deel van het netwerk dat in de komende jaren geëlektrificeerd moet worden. In elke fase heeft RSM bijgedragen aan het mogelijk maken van de transitie.

Impact van de elektrificatie

In de vroege voorbereidingsfase van het project was RETs voornaamste doel uit te zoeken wat de impact van de elektrificatie zou zijn op de huidige planning. Hierbij werd de huidige planning geëvalueerd met verschillende parameters zoals de capaciteit van de batterij, het energieverbruik en het vermogen van de laadpalen. Ter ondersteuning van deze analyse ontwikkelde RSM een simulatietool die voor elke set met parameters evalueert hoeveel bussen een te laag batterijniveau zouden hebben aan het einde van de dag. Deze analyse liet overduidelijk

zien dat zelfs in het meest optimistische scenario met een grote batterij, laag energieverbruik en hoog laadvermogen meerdere bussen in de problemen zouden komen in de huidige planning. Deze analyse bevestigde dat de RET de materiaalplanning zou moeten aanpassen en rekening moet gaan houden met de specifieke kenmerken van elektrische bussen in de planning.

Optimaliseren van laadstrategieën

Na de voorbereidende fase lag de focus op de eerste set met bussen die geëlektrificeerd zou worden. Hierbij gaat het om 50 bussen die aan het eind van 2019 in gebruik zijn genomen. Onze werkzaamheden hebben plaatsgevonden in de voorbereiding op deze fase. De bussen voeren ritten uit op zeven verschillende lijnen aan de noordkant van de stad Rotterdam, waarbij ze gedurende de dag op zeven verschillende eindstations kunnen laden bij snelladers. Gedurende de nacht worden de bussen in de garage aangesloten op laders met een lager vermogen om weer met een volle batterij aan de volgende dag te kunnen beginnen. RET richtte zich in deze fase voornamelijk op het toewijzen van de verschillende ritten aan de bussen. Hierbij moest er voldoende ruimte tussen ritten gelaten worden om gebruik te maken van de snelladers.

RSM richtte zich op het optimaliseren van laadstrategieën die een balans zouden vinden tussen een robuuste materieelplanning en niet onnodig gebruik maken van snelladers. Het beperkte gebruik van de snelladers is noodzakelijk omdat dit grote impact heeft op de levensduur van de batterij en op het elektriciteitsnetwerk van de stad. Deze afweging werd gemodelleerd door het aantal laadmomenten gedurende de dag te minimaliseren onder de voorwaarde dat elke bus te allen tijde een minimaal batterijniveau zou hebben. Het bleek dat het aantal laadmomenten meer dan gehalveerd kon worden ten opzichte van een naïeve laadstrategie waarbij bussen alle beschikbare laadmomenten zouden gebruiken.

Al snel deed zich de vraag voor wat de impact van vertragingen zou zijn op het batterijniveau van de bussen. Vertragingen kunnen ervoor zorgen dat een bus een laadmoment mist of een lager dan gepland batterijniveau



heeft aan het einde van een rit. Als gevolg hiervan kan de bus later op de dag in de problemen komen. Om dit te evalueren hebben we de simulatie uit fase 0 uitgebreid om ook de situatie met onzekerheid te kunnen analyseren. Uit deze analyse bleek dat zelfs bij een relatief hoog minimaal batterijniveau in de planning er nog steeds meerdere bussen per dag in de problemen zouden kunnen komen als er geen real-time aanpassingen gedaan zouden worden. Als gevolg van de onzekerheid is het vooraf niet duidelijk voor welke bussen maatregelen nodig zijn. Het is daarom nodig om, op basis van de realisaties van de onzekerheid, real-time aanpassingen te doen aan het laadschema om problemen op te lossen. Hiervoor hebben we een real-time laadstrategie ontwikkeld die op basis van de optimale offline laadstrategie en de real-time informatie aangeeft welke bus op welk moment moet laden. Deze strategie blijkt een robuuste oplossing te geven terwijl het aantal laadmomenten laag gehouden kan worden.

Zonnepanelen

In december van 2019 zijn de eerste 50 elektrische bussen in gebruik genomen. Vanaf dat moment is de aandacht van het onderzoek verschoven naar de tweede set met bussen die in de komende jaren in gebruik genomen zal worden. Deze set met bussen zal vooral ingezet worden

aan de zuidkant van Rotterdam. Anders dan bij de eerste set zullen al deze bussen laden op hetzelfde busstation. Door deze clustering van de laadactiviteiten wordt het belangrijk om de interactie tussen de lijnen te beschouwen en is het benodigde aantal laadpalen minder eenvoudig te bepalen. Ook biedt deze netwerkstructuur de mogelijkheid om lokaal hernieuwbare energie op te wekken en deze direct te gebruiken voor het laden van de bussen. Hiervoor wordt overwogen om een zonnepark aan te leggen op het busstation. De onzekerheid in de hoeveelheid opgewekte energie brengt een extra laag complexiteit. De vraag was hierbij wat de impact van dit zonnepark op de totale verbruikte energie zou zijn en of het gebruik van de hernieuwbare energie verhoogd kan worden door een deel van de energie op te slaan in een batterij.

De resultaten van deze analyse laten zien dat, zelfs zonder de mogelijkheid tot opslag, tot wel 70% van de verbruikte energie in de zomer direct van de zonnepanelen kan komen. Voor de winter is dit door de lagere opwekking slechts 30%. In beide gevallen gaat er maar een klein deel van de opgewekte energie verloren. Dat zien we ook wanneer we kijken naar de meerwaarde van een batterij op het busstation waarin een deel van de ongebruikte energie opgeslagen kan worden. We zien dat dit kan leiden tot een toename van de gebruikte hernieuwbare energie van ongeveer 7%. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het opladen van de batterij in de ochtend voordat de bussen moeten laden en het ontladen

van de batterij aan het eind van de dag als de zon niet meer schijnt.

Interessant genoeg zien we dat de meerwaarde van de batterij het hoogst is in de lente en de herfst en niet in de zomer. Door de hoge hoeveelheid opgewekte energie in de zomer is er maar een beperkt aantal mogelijkheden waarop de energie in de batterij nodig is voor het laden van de bussen. In de lente en de herfst komt dit, door beperktere opwekking vaker voor en heeft de batterij een grotere meerwaarde.

Lessons learned

In dit project hebben RSM en de RET nauw samenwerkt om de implementatie van de elektrische bussen zo soepel mogelijk te laten verlopen. In de verschillende fasen hebben we de nodige zaken geleerd. Zo werd al snel duidelijk dat de impact van het elektrificeren van de bussen van de RET niet onderschat moet worden en dat dit vraagt om een grote verandering aan de materieelinzet. In fase 1 hebben we de impact van vertragingen gezien, waarbij zelfs conservatieve offline laadstrategieën niet kunnen voorkomen dat bussen in de problemen kunnen komen. Het is dan ook cruciaal om real-time bijsturing toe te passen om ervoor te zorgen dat bussen met lage batterijniveaus extra laadmomenten toegewezen krijgen. Ten slotte hebben we gezien dat een netwerk met een hub voor het laden van de bussen zeer geschikt is voor het gebruik van lokaal opgewekte hernieuwbare energie en dat in zo'n situatie energieopslag maar beperkte toegevoegde waarde heeft. In december van 2019 zijn de eerste bussen volgens planning opgenomen in de dienstregeling.

LITERATUUR

- A. Abdelwahed, P.L. van den Berg, T. Brandt, W. Ketter and J. Mulder (2020). *A boost for urban sustainability: optimizing the electric transit bus network in Rotterdam*. Submitted for publication.
- A. Abdelwahed, P.L. van den Berg, T. Brandt, J. Collins, W. Ketter (2020). *Evaluating and Optimizing Opportunity Fast-Charging Schedules in Transit Battery Electric Bus Networks*. To appear in *Transportation Science*.

PIETER VAN DEN BERG is als universitair docent verbonden aan de Rotterdam School of Management, Erasmus University. Naast zijn onderzoek naar de elektrificatie van busvervoer richt hij zich op de logistiek van on-demand dienstverleners zoals ambulances, taxi's en wegwacht. Voor dit onderzoek ontving hij in 2019 een NWO Veni beurs. E-mail: vandenbergr@rsm.nl



Als muzikieliefhebber kan ik enorm genieten van de composities van gitaristen als Stevie Ray Vaughan, Eric Clapton of David Gilmour maar ook van minder bekende zoals Guthrie Govan, Anne Soldaat of Jeff Beck. Hun composities zijn soms ongelofelijk complex, dan weer simpel, alles met als doel de gitaar een verhaal te laten vertellen, een gevoel over te brengen. Als amateurgitarist doe ik verwoede pogingen hun spel te benaderen, dat lukt slechts ten dele aangezien ik niet over hun vakmanschap, creativiteit en ervaring beschik. Als ik hun composities uitwerk en analyseer komt hun vakmanschap nog duidelijker naar voren. Als je dan weet dat sommige composities in een hele korte tijd geschreven zijn, zoals bijvoorbeeld *Wonderful Tonight* van Eric Clapton¹ stijgt mijn bewondering nog meer.

Modelleren is als Soleren

Naast amateurgitarist ben ik ook Operations Research-consultant. Op het eerste gezicht lijken deze twee activiteiten weinig met elkaar te maken te hebben, ze hebben echter veel met elkaar gemeen. Of je nu een goede gitarist of een goede OR-consultant wil zijn, vakmanschap, creativiteit en ervaring zijn voor beide van groot belang. Het succes van een gitaarsolo of een beslismodel hangt in hoge mate af van het vakmanschap en de creativiteit van de 'artiest'. Modelleren of op een gitaar soleren is een vaardigheid, een vak dat met veel oefenen kan worden geleerd. Leren soleren op een gitaar start met het spelen van eenvoudige patronen waarna steeds meer complexiteit kan worden toegevoegd totdat een het gewenste resultaat wordt bereikt. Het proces om een beslismodel te maken gaat analoog, het is een iteratief proces dat begint

Modelleren, een vak apart

met heel eenvoudige modellen. Het model zal geleidelijk in complexiteit groeien totdat alle relevante details en voorwaarden zijn verwerkt. De stapsgewijze benadering zorgt voor frequente feedback, wat leidt tot een beter begrip van het beslissingsprobleem (of gitaarsolo). Een dergelijke aanpak schept ook vertrouwen in het (model) leerproces en de resultaten.

Niet alles is uit data te leren

Het ontwerpen van een goed beslismodel is een cruciale factor in het succesvol aanpakken van een praktisch vraagstuk. Naar mijn gevoel wordt er in de praktijk echter steeds minder aandacht aan modelleren gegeven. In plaats van goed na te denken, gebruiken we de computer steeds meer om geautomatiseerd een model te maken dat een acceptabele oplossing oplevert. In de huidige praktijk wordt met data en een algoritme een model geschat om bijvoorbeeld het volgende onderhoudsmoment van een machine te voorspellen. Voor een individuele machine kan zo'n model prima werken, het is bovendien relatief eenvoudig en snel te maken. Echter de beslissing om onderhoud uit te voeren kan veel complexer zijn dan alleen het vaststellen van het uiterste onderhoudsmoment. Er moet bijvoorbeeld onderhoudscapaciteit worden gereserveerd, eventueel te vervangen onderdelen moeten op voorraad zijn en de gemiste productie moet worden ingehaald. Mogelijk zijn er ook beperkingen op het aantal machines dat tegelijkertijd in onderhoud mag. Deze aanvullende en machine-overstijgende beperkingen zijn echter niet uit data te leren. Met de juiste ervaring en vakmanschap kunnen deze aanvullende eisen snel duidelijk worden en in het beslismodel worden verwerkt.

Modeleren, een waardevol vak

Hoewel er veel vooruitgang wordt geboekt op het gebied van automatisch uit data leren zal kunstmatige intelligentie voorlopig niet in staat zijn modellen die alle relevante praktische details bevatten voor ons te creëren. Het blijft handwerk waarin vakmanschap, creativiteit en ervaring van groot belang zijn. Dat wil niet zeggen dat het een langdurig proces hoeft te zijn. Ik kom regelmatig in de situatie waarin in een paar uur het benodigde model al klaar is, soms tot verbazing van de klant. Is het probleem dan zo eenvoudig? Dat is het zeker niet, de snelheid is het gevolg van ervaring en kennis, het vraagstuk kan nog steeds onverminderd complex zijn. Het laat zien dat goed kunnen modelleren een krachtig instrument voor een OR-consultant is dat veel waarde heeft, wat overigens niet altijd goed over te brengen is aan een klant die alleen naar de bestede tijd kijkt. Niemand minder dan Pablo Picasso maakte dat duidelijk toen een bewonderaar aan hem vroeg een schets op een servet te maken. Picasso stemde beleefd in, voerde het werk snel uit en gaf het servet terug – maar niet voordat hij om een vrij aanzienlijk bedrag vroeg. De bewonderaar was geschokt: 'Hoe kun je zoveel vragen?' Het kostte je een minuut om dit te tekenen! 'Nee', antwoordde Picasso, 'Het kostte me 40 jaar'.

NOOT

1. Het verhaal gaat dat Eric Clapton dit nummer schreef het terwijl hij op zijn vrouw Pattie Boyd wachtte om samen uit te gaan.

JOHN POPPELAARS, Directeur LITIC B.V.
E-mail: john.poppelaars@litic.com